

© EPODOC / EPO

- PN** - DE4327162 C 19940728
- TI** - Mains reactive power compensation for inverter-fed sync machine
- AB** - The sync machine (6) is supplied with AC from a mains rectifier (3), intermediate circuit choke (4) and controllable machine inverter (5). The rectifier is connected by transformer (1) to three-phase mains (19), with a static VAR compensator (2) at its input. Current control is superimposed upon rotational speed control in a loop with a tachometer (7) and two controlling amplifiers (8, 9). The inverter is adjusted (11) in accordance with the discrepancy between actual and desired mains power factors, divided (14) by the actual rotational speed. The quotient is corrected (12) for max. control angle and multiplied (18) by the output of the speed control amplifier (8).
- EC** - G05F 1/70 ; H02M5/458B ; H02P5/40C1B
- PA** - LICENTIA GMBH (DE)
- IN** - DAO HOANG-MINH DR (DE)
- CT** - ***** Citations of A -Document: *****
- DE3204673 C2 []; DE2935320 A1 []
- CTNP** - ***** Citations of A -Document: *****
- [] Zeitschrift ETZ Bd. 102(1981) H. 1, S. 14-18
- AP** - DE19934327162 19930807
- PR** - DE19934327162 19930807
- DT** - *

© WPI / DERWENT

- AN** - 1994-226419 [28]
- TI** - Mains reactive power compensation for inverter-fed sync machine - involves dividing power factor error by actual sync machine rotational speed and correction for max. inverter control angle.
- AB** - DE4327162 The sync machine (6) is supplied with AC from a mains rectifier (3), intermediate circuit choke (4) and controllable machine inverter (5). The rectifier is connected by transformer (1) to three-phase mains (19), with a static VAR compensator (2) at its input.
- Current control is superimposed upon rotational speed control in a loop with a tachometer (7) and two controlling amplifiers (8, 9). The inverter is adjusted (11) in accordance with the discrepancy

between actual and desired mains power factors, divided (14) by the actual rotational speed. The quotient is corrected (12) for max. control angle and multiplied (18) by the output of the speed control amplifier (8).

- ADVANTAGE - A uniform quality of power factor correction is achieved in the face of speed and load changes and voltage fluctuations.
- (Dwg. 1/1)

IW - MAINS REACT POWER COMPENSATE
INVERTER FEED SYNCHRONOUS
MACHINE DIVIDE POWER FACTOR
ERROR ACTUAL SYNCHRONOUS
MACHINE ROTATING SPEED CORRECT
MAXIMUM INVERTER CONTROL ANGLE

- PN** - DE4327162 C1 19940728 DW199428
H02P7/44 005pp
- IC** - G05F 1/70 ; H02M1/12 ; H02P7/44
- MC** - X12-J01A X12-J05A X13-G01B1
- DC** - X12 X13
- PA** - (LICN) LICENTIA PATENT-VERW GMBH
- IN** - DAO H
- AP** - DE19934327162 19930807
- PR** - DE19934327162 19930807



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Pat ntschrift
10 DE 43 27 162 C 1

51 Int. Cl.⁵:
H 02 P 7/44
H 02 M 1/12
G 05 F 1/70

21 Aktenzeichen: P 43 27 162.6-32
22 Anmeldetag: 7. 8. 93
43 Offenlegungstag: —
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 28. 7. 94

DE 43 27 162 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

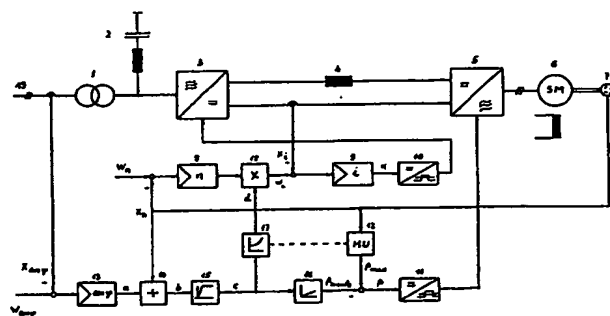
73 Patentinhaber:
Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH, 60596 Frankfurt,
DE

72 Erfinder:
Dao, Hoang-Minh, Dr., 14089 Berlin, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 32 04 673 C2
DE 29 35 320 A1
Zeitschrift ETZ Bd. 102(1981) H. 1, S. 14-18;

64 Regelung des Netz-Leistungsfaktors einer umrichtergespeisten Synchronmaschine

67 Es soll ein Verfahren zur Regelung des Netz-Leistungsfaktors eines an einem eine Blindleistungs-Kompensationseinrichtung (2) aufweisenden Netz (19) liegenden, aus einem steuerbaren Netzstromrichter (3), einem Gleichstromzwischenkreis (Zwischenkreisdrossel 4) und einem steuerbaren Maschinenstromrichter (5) aufgebauten, eine Synchronmaschine (6) speisenden Umrichters angegeben werden, das eine gleichbleibende Regelgüte bei Drehzahl- und Laständerungen sowie bei Netzspannungsschwankungen gewährleistet. Dabei ist der Netzstromrichter (3) über einen Drehzahlregelkreis mit unterlagelter Stromregelung gesteuert und der Maschinenstromrichter in Abhängigkeit von der Regelabweichung eines Netzleistungsfaktorswertes ($x_{\cos\phi}$) am Netz (19) von einem Netzleistungsfaktorsollwert ($w_{\cos\phi}$) gesteuert. Diese Regelabweichung wird gemäß der Erfindung durch den Drehzahlwert (x_n) der Synchronmaschine dividiert. Anschließend wird diese durch die Division gewonnene Größe einerseits durch einen von einem vorgegebenen Steuerwinkel (β_{\max}) des Maschinenstromrichters (5) abhängigen Wert korrigiert und sodann mit dem vom Drehzahlregler (8) vorgegebenen Wert multipliziert als Stromführungsgröße (w_i) der unterlagerten Stromregelung vorgegeben. Andererseits wird diese durch die Division gewonnene Größe für die Steuerung des Maschinenstromrichters (5) von dem vorgegebenen maximalen Steuerwinkel (β_{\max}) als Zusatzsteuerwinkel (β_{Zusatz}) abgezogen.



DE 43 27 162 C 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ein derartiges Verfahren ist durch die DE-OS 29 35 320 bekannt.

Der Blindleistungssollwert wird dabei von einem Sollwertgeber als Konstante vorgegeben, die der vom Umrichter einschließlich der Maschine zum Zeitpunkt des Betriebes bei Nennleistung verbrauchten Blindleistung entspricht. Diese wird im wesentlichen durch die Kompensationseinrichtung aufgebracht, so daß das Netz durch den Betrieb der umrichter gespeisten Synchronmaschine nicht mit Blindleistung belastet ist. Änderungen der Netzverhältnisse (Spannungsschwankungen) werden bei diesem Verfahren jedoch nicht berücksichtigt.

Insbesondere wenn die Maschine in einem Drehzahlbereich mit wechselndem Drehmoment betrieben wird, ist es erwünscht, daß eine Anpassung an die sich einstellenden Belastungsverhältnisse erfolgen kann. Das ist mit einer Schonzeitregelung möglich, wie sie in "ETZ" Bd. 102 (1981) Heft 1, Seiten 14 bis 18 beschrieben ist. Dieses Verfahren zielt darauf ab, beim Maschinenstromrichter die Maschine im Teillastbereich mit möglichst großem Leistungsfaktor zu betreiben. Der Zwischenkreisstrom wird möglichst klein, die Zwischenkreisspannung möglichst groß gehalten. Dadurch stellt sich jedoch die netzseitige Blindleistung drehzahl- und belastungsabhängig ein, was zu entsprechenden Spannungsschwankungen führt. Eine Kompensation der auftretenden Blindleistung ist nur sehr aufwendig mit dynamischen Kompensationseinrichtungen durchführbar.

Die DE-PS 32 04 673 gibt ein Verfahren an, durch das ein optimaler Betrieb der umrichter gespeisten Synchronmaschine hinsichtlich des Netzleistungsfaktors in allen Betriebsbereichen bei schwankenden Netzverhältnissen sichergestellt wird. Dazu wird der Blindleistungssollwert in Abhängigkeit von der Netzspannung und der Grundschrwingungsreaktanz der Kompensationseinrichtung vorgegeben. Bei einer Schonzeitregelung, durch die der Maschinenstromrichter gesteuert ist, erfolgt eine Vorgabe der Regelabweichung des Blindleistungsistwerts vom Blindleistungssollwert bis zur minimal zulässigen Schonzeit als zusätzliche Führungsgröße. Abgesehen davon, daß die Realisierung dieses bekannten Verfahrens einen hohen Aufwand erfordert, weist die Netzleistungsfaktorregelung eine drehzahlabhängige Regeldynamik auf. Während bei Nenndrehzahl die Ausregelung optimal erfolgt, ist bei kleinen Drehzahlen wegen der geringen Verstärkung im Regelkreis nur eine langsame Ausregelung möglich. Zusätzlich ergibt sich prinzipbedingt bei Änderungen der Aussteuerung des Maschinenstromrichters eine Änderung des Motormomentes und damit eine Drehzahlschwankung.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das eingangs angegebene Verfahren derart auszugestalten, daß eine gleichbleibende Regelgüte der Netzleistungsfaktorregelung bei Drehzahl- und Laständerungen sowie bei Netzspannungsschwankungen erreicht wird.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die im Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst.

Mit der drehzahlabhängigen Einstellung des Steuerwinkels des Maschinenstromrichters wird vorteilhafterweise der vorgegebene Netzleistungsfaktor einer in unterschiedlichem Betriebszustand arbeitenden umrichter gespeisten Synchronmaschine unabhängig von Netzspannungsschwankungen konstant gehalten. Das Regelungskonzept sieht zum einen eine adaptive Netzleistungsfaktor-Regelung zur Gewährleistung einer gleichbleibenden Regeldynamik im gesamten Drehzahlbereich durch eine selbständige Drehzahlanpassung vor und entkoppelt zum anderen den Drehzahlregelkreis vom Netzleistungsfaktorregelkreis durch eine Korrektur des Stromsollwertes, um den störenden Einfluß des arbeitenden Netzleistungsfaktorreglers auf den Drehzahlregelkreis zu unterbinden.

Der Netzleistungsfaktor wird meßtechnisch erfaßt und mit dem vorgegebenen Wert verglichen. Bei auftreten der Abweichung des Netzleistungsfaktor-Istwertes vom Sollwert regelt der Netzleistungsfaktorregler den Maschinensteuerwinkel so lange, bis die Abweichung verschwindet.

Ist der Netzleistungsfaktor nicht direkt durch Messung verfügbar, dafür aber die gemessene Wirkleistung P und die gemessene Blindleistung Q, so kann der Netzleistungsfaktor $x_{\cos \varphi}$ entsprechend der Beziehung

$$x_{\cos \varphi} = \cos \arctan \frac{Q}{P}$$

ermittelt werden.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahren nach der Erfindung sind in den restlichen Ansprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung soll im folgenden anhand der Zeichnung für ein Ausführungsbeispiel erläutert werden. Die Zeichnungsfigur zeigt ein Prinzipschaltbild einer über einen Gleichstromzwischenkreis-Umrichter betriebenen Synchronmaschine mit einer Netzleistungsfaktorregelung nach der Erfindung.

Gemäß Fig. 1 besteht der Gleichstromzwischenkreis-Umrichter aus einem Netzstromrichter 3, einer Zwischenkreisdrossel 4 und einem Maschinenstromrichter 5, an den die Synchronmaschine 6 angeschlossen ist. Der Netzstromrichter 3 ist über einen Umrichtertransformator 1 an ein dreiphasiges Netz 19 gelegt. An den Eingang des Netzstromrichters 3 ist eine statische Blindleistungskompensationsanlage 2 geschaltet, die den überwiegenden Teil der beim Betrieb der Synchronmaschine 6 über den Gleichstromzwischenkreis-Umrichter auftretenden Blindleistung kompensieren soll.

Die Synchronmaschine 6 wird von dem Umrichter mit variabler Frequenz und Spannung gespeist. Beim Maschinenstromrichter 5 wird dazu die Umschaltung der stromführenden Zweige von der Stellung des Polrads der Synchronmaschine 6 abgeleitet. Der Maschinenstromrichter 5 arbeitet lastgeführt, die Kommutierung wird durch die induzierte Spannung am Anker der Synchronmaschine 6 ermöglicht. Der Blindleistungsbedarf des Maschinenstromrichters 5 wird damit von der übererregten Synchronmaschine 6 gedeckt.

Der Netzstromrichter 3 wird von der Frequenz des speisenden Netzes 19 geführt, indem die vorzugsweise als

Thyristoren aus gebildeten Halbleiterschalter des Stromrichtersatzes mit einer Phasenanschnittsteuerung gezündet werden. Der Netzstromrichter 3 arbeitet als gesteuerter Gleichrichter und bezieht somit die Blindleistung von der Blindleistungskompensationsanlage 2 sowie vom Netz 19. Der überwiegende Teil der vom Netzstromrichter 3 aufgenommenen Blindleistung ist die Steuerblindleistung, die durch seinen Steuerwinkel α bestimmt wird. Hinzu kommt die Kommutierungsblindleistung, die jedoch gegenüber der Steuerblindleistung vernachlässigbar klein ist. Ein weiterer Blindleistungsanteil ist die von Oberschwingungsströmen hervorgerufene Verzerrungsleistung, die von der Pulszahl des Stromrichters abhängig ist.

Gemäß der Zeichnungsfigur wird der Steuerwinkel α des Netzstromrichters 3 durch eine Drehzahlregelung mit unterlagelter Stromregelung bestimmt. An der Welle der Synchronmaschine 6 ist ein Drehzahlmesser 7 angeschlossen, der den Drehzahl-Istwert x_n liefert. Dieser wird mit einem vorgesehenen Drehzahl Sollwert w_n verglichen. Die Regelabweichung wird über einen Drehzahlregelverstärker 8 geführt, an dessen Ausgang ein Sollwert für die unterlagerte Stromregelung ansteht. In einem Multiplizierer 18 erfolgt eine (weiter unten im Zusammenhang mit der Erfindung noch näher erläuterte) Multiplikation mit einer Größe d . Das Produkt ist ein Stromsollwert w_i , der mit einem aus dem Zwischenkreis abgegriffenen Stromistwert x_i verglichen wird. Die sich dabei ergebende Regelabweichung ist über einen Stromregelverstärker 9 geführt, an dessen Ausgang der gewünschte Steuerwinkel α für die Steuerung des Netzstromrichters 3 ansteht. Der Steuerwinkel α wird in einem Netzstromrichter-Steuersatz 10 in geeignete Impulse zur Ansteuerung der Thyristoren des Netzstromrichters 3 umgesetzt.

Der Steuerwinkel des Netzstromrichters 3 ist sowohl von der Drehzahl n als auch von dem Steuerwinkel β des Maschinenstromrichters bestimmt.

Bei Betrieb des Maschinenstromrichters 5 in seiner Wechselrichterendlage, was der anzustrebenden minimalen Steuerblindleistung des Maschinenstromrichters 5 entspricht, ist der maximal (mögliche Steuerwinkel β_{\max} durch

$$\beta_{\max} = 180^\circ [\text{Löschwinkel} + (2 \cdot \pi \cdot \text{Frequenz} \cdot \text{Kommutierungszeit})_{\max}]$$

gegeben. Der Löschwinkel ist im wesentlichen von der Frequenz und der Schonzeit abhängig. Die beim Betrieb des Maschinenstromrichters 5 mit dem Steuerwinkel β_{\max} aufgenommene Blindleistung ist von der Drehzahl n der Synchronmaschine 6 abhängig.

Bei einer netzleistungsfaktorgeregelten Synchronmaschine 6 ist der Sollwert der vom Netz aufgenommenen Blindleistung q abhängig von dem vorgegebenen Netzleistungsfaktor $\cos \varphi$, von der Wirkleistung p (entsprechend dem Produkt auf Drehmoment m und der Drehzahl n der Synchronmaschine 6) und von der installierten Blindleistung q_k der Blindleistungskompensationsanlage 2. Es gilt $q = q_k + m \cdot n \cdot \tan \varphi$.

Während die Belastung und die Drehzahl hinreichend erfaßbar sind, kann die von der Blindleistungskompensationsanlage 2 gelieferte Blindleistung wegen der quadratischen Abhängigkeit von der Netzspannung nicht als Konstante angesehen werden. Zur Ermittlung des Steuerwinkels β des Maschinenstromrichters ist außerdem der lastabhängige Blindleistungsbedarf des Umrichtertransformators 1 zu berücksichtigen.

Die genannten Probleme entfallen, wenn der Netzleistungsfaktor meßtechnisch erfaßt (oder wie zuvor beschrieben durch Rechnung über die gemessenen Wirkleistung und Blindleistung bestimmt) und durch Verstellen des Maschinensteuerwinkels β auf einen vorgegebenen Wert geregelt wird.

Gemäß der Zeichnungsfigur wird der Istwert $x_{\cos \varphi}$ des Netzleistungsfaktors $\cos \varphi$ erfaßt und mit einem vorgegebenen Sollwert $w_{\cos \varphi}$ verglichen. Die Regelabweichung wird über einen Netzleistungsfaktor-Regelverstärker 13 geführt.

Bekanntermaßen ist der Netzleistungsfaktor $\cos \varphi$ von dem Produkt aus der Drehzahl n und dem Maschinenleistungsfaktor $\cos \beta$ abhängig. Um ein drehzahlunabhängiges Regelverhalten zu erreichen, wird gemäß der Erfindung die Ausgangsgröße a des Netzleistungsfaktor-Regelverstärkers ($\cos \varphi$ -Reglers) 13 in einem Dividierer 14 durch den Drehzahlwert x_n dividiert. Die derart linearisierte, modifizierte Stellgröße b am Ausgang des Dividierers 14 wird durch einen an sich bekannten Steilheitsbegrenzer 15 in ihrer Anstiegssteilheit begrenzt. In einem linearen Anpassungsglied 16 wird die Ausgangsgröße des Steilheitsbegrenzers 15 zur Anpassung an die von einem Meßwertumformer 12 bereitgestellte Größe des maximalen Steuerwinkels β_{\max} des Maschinenstromrichters 5 zu einem Zusatzsteuerwinkel β_{Zusatz} umgewandelt. Der Maschinensteuerwinkel β des Maschinenstromrichters 5 ist dann die Differenz zwischen der im Meßwertumformer 12 errechneten Wechselrichterendlage (Steuerwinkel β_{\max}) und dem im Anpassungsglied 16 ermittelten Zusatzsteuerwinkel β_{Zusatz} . Der Meßwertumformer selbst ermittelt den maximalen Steuerwinkel β_{\max} in Abhängigkeit von der Maschinenfrequenz (Drehzahlwert x_n) der Hauptfeldspannung, dem Zwischenkreisstrom und der einzuhaltenden Schonzeit der eingesetzten Thyristoren im Maschinenstromrichter 5. Die Bestimmung der Wechselrichterendlage $\beta = \beta_{\max}$, bei der der Maschinenstromrichter 5 die minimale Blindleistung $q = q_{\min}$ aufnimmt, ist bei dem eingangs erwähnten Stand der Technik üblich. Mit 11 ist der durch den Steuerwinkel β beaufschlagte Steuersatz für den Maschinenstromrichter 5 bezeichnet.

Beim Betrieb mit der zuvor erläuterten $\cos \varphi$ -Regelung stellt sich die Stellgröße β_{Zusatz} so ein, daß mit dem Steuerwinkel des Maschinenstromrichters 5 $\beta = \beta_{\max} - \beta_{\text{Zusatz}}$ die Regeldifferenz $x_{\cos \varphi} - w_{\cos \varphi}$ zu Null wird.

Das von der Synchronmaschine erzeugte Drehmoment m ist dem Produkt aus dem Zwischenkreisstrom i und dem Maschinenleistungsfaktor $\cos \beta$ proportional. Das heißt durch Verstellen des Maschinenwinkels von β_{\max} auf β bei Konstanthalten des Zwischenkreisstromes $i = i^*$ nimmt das vom Motor erzeugte Drehmoment um den Wert $(\cos \beta - \cos \beta_{\max}) \cdot i^*$ ab, der bei einer vorgegebenen Last der Synchronmaschine 6 zu einer Drehzahlabsenkung führt. Um die Drehmomentabsenkung als Folge der Verstellung des Steuerwinkels β des Maschinenstromrichters 5 zu vermeiden, wird deshalb gemäß der Erfindung gleichzeitig zu der Maschinensteuerwinkelverstellung über die Ausgangsgröße c des Steilheitsbegrenzers 15 auch der Stromsollwert w_i so verstellt, daß die

Beziehung $w_1 \cdot \cos \beta = w_1^* \cdot \cos \beta_{\max}$ gilt. In einem Funktionsbaustein 17 wird in Abhängigkeit von der Stellgröße c und der Wechselrichterendlage β_{\max} das Verhältnis $d = \cos \beta_{\max} / \cos \beta$ gebildet. Wie zuvor schon erwähnt, wird dann die Ausgangsgröße des Drehzahlregelverstärkers 8 in dem Multiplizierer 18 mit der Stellgröße d am Ausgang des Funktionsbausteines 17 multipliziert. Das Ergebnis ist der Stromsollwert w_1 der oben beschriebenen unterlagerten Stromregelung.

Die Korrektur im Funktionsbaustein 17 wird entsprechend der Funktion

$$d = \frac{\cos \beta_{\max}}{\cos [\beta_{\max} - (\beta_{\max} - 90^\circ) \cdot c]}$$

gebildet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung des Netz-Leistungsfaktors eines an einem eine Blindleistungs- Kompensations-einrichtung aufweisenden Netz liegenden, aus einem steuerbaren Netzstromrichter, einem Gleichstromzwischenkreis und einem steuerbaren Maschinenstromrichter aufgebauten, eine Synchronmaschine speisenden Umrichters, bei dem der Netzstromrichter über einen Drehzahlregelkreis mit unterlagelter Stromregelung gesteuert wird und bei dem der Maschinenstromrichter in Abhängigkeit von der Regelabweichung eines Leistungsfaktoristwerts am Netz von einem Leistungsfaktorsollwert gesteuert wird, dadurch gekennzeichnet,

daß die Regelabweichung des Netzleistungsfaktoristwerts vom Netzleistungsfaktorsollwert durch den Drehzahlwert der Synchronmaschine dividiert wird,

daß diese durch die Division gewonnene Größe einerseits durch einen von einem vorgegebenen maximalen Steuerwinkel des Maschinenstromrichters abhängigen Wert korrigiert und sodann mit dem vom Drehzahlregler vorgegebenen Wert multipliziert als Stromführungsgröße der unterlagerten Stromregelung vorgegeben wird und

daß diese durch die Division gewonnene Größe andererseits für die Steuerung des Maschinenstromrichters von dem vorgegebenen maximalen Steuerwinkel als Zusatzsteuerwinkel abgezogen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrektur der durch die Division gewonnenen Größe c entsprechend der Funktion

$$d = \frac{\cos \beta_{\max}}{\cos [\beta_{\max} - (\beta_{\max} - 90^\circ) \cdot c]}$$

erfolgt, wobei β_{\max} der vorgegebene maximale Steuerwinkel des Maschinenstromrichters ist.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die Division gewonnene Größe in ihrer Anstiegssteilheit begrenzt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

